

楔形内螺纹锁键螺套锁紧性能分析研究

张雪峰¹, 闫路¹, 刘锴², 季宝锋¹, 孟德浩¹, 佟文敏¹

(1. 北京宇航系统工程研究所, 北京 100076;
2. 中国航天标准化与产品保证研究院, 北京 100071)

摘要: 针对螺纹强度要求较高的产品需求, 设计楔形内螺纹锁键螺套; 对影响锁紧性能的因素进行辨识, 针对不确定要素给出验证方案, 并进行对比试验; 确定楔形内螺纹锁键螺套锁紧性能影响要素, 给出优化设计和试验准则, 为新型锁紧产品设计提供理论储备。

关键词: 楔形内螺纹; 锁键螺套; 锁紧性能

中图分类号: TH12 **文献标志码:** A **文章编号:** 2096-4080 (2018) 04-0065-04

Research on Locking Performance of Lock Nut with Wedge Thread

ZHANG Xuefeng¹, YAN Lu¹, LIU Kai², JI Baofeng¹, MENG Dehao¹, TONG Wenmin¹

(1. Beijing Institute of Astronautical Systems Engineering, Beijing 10076, China;
2. China Academy of Aerospace Standardization and product assurance, Beijing 100071, China)

Abstract: Aiming at higher thread strength, a lock nut with wedge thread is designed. And the factors that affect nut performance are identified. For uncertain elements, the verification scheme is given. And the comparison test is carried out. At last, the locking performance factors are confirmed, and the optimal design and experiment criteria are given, which provide theoretical reference for design.

Key words: Wedge thread; Lock nut; Locking performance

0 引言

锁键螺套是一类内外螺纹与偶数组锁键一体的新型紧固件, 与传统钢丝螺套紧固件相比, 锁键螺套在反复拆装、受力较大和冲击振动等使用环境中, 具有与基体连接可靠、不脱出等显著优势, 广泛应用于航空、航天、铁路机车和振动机械等对螺纹强度要求较高的产品, 以及铝合金、镁合金等基体材料强度较弱的安装环境^[1-2]。

对于紧固件而言, 提高自身的锁紧性能^[3-4]是紧固件连接的必然要求^[5], 自锁紧固件主要采用参数要素优化方法提高自身的锁紧性能。全金属

自锁螺母通过调整收口量优化锁紧力矩提高锁紧性能^[6]; 变压型螺纹通过优化螺纹牙型尺寸, 获取最佳锁紧性能^[7]。同时, 有学者通过材料力学^[8]、力学性能数据^[8]、优化收口量^[9]、锁紧力矩影响要素优化^[10-11]等方法对锁紧性能的影响要素和规律等进行研究。

本文针对锁键螺套锁紧性能试验中, 出现的不同规格锁键螺套锁紧性能差异等试验现象, 利用现象分析和样本试验的方法, 对可能的影响要素进行辨识并进行试验研究, 确定锁键螺套锁紧性能的影响要素和规律, 为产品优化设计奠定基础。

收稿日期: 2018-02-11; 修订日期: 2018-06-29

作者简介: 张雪峰 (1985-), 男, 博士, 工程师, 主要研究方向为机电一体化设计。E-mail: xzfzhangmail@126.com

1 锁键螺套结构

锁键螺套由自锁螺套和锁键两部分组成, 结构形式如图 1 所示。自锁螺套为空心圆柱型套体, 具有内螺纹和外螺纹, 外螺纹为普通螺纹, 内螺纹为 30° 楔形防松螺纹。螺套左端头部含有 4 个一定深度的“U”型开口长槽, 用于锁键的安装导引与安装锁紧。零件状态下, 锁键插入螺套中; 当锁键螺套旋入基体预制螺纹孔后, 将锁键沿螺套“U”型开口长槽敲入螺套基体, 利用锁键和螺套之间的过盈配合, 实现锁紧, 为基体螺栓连接提供连接接口。锁键螺套的材料一般选用 14Cr17Ni2, 具有较强的材料强度。锁键螺套内外螺纹设计的特点在于, 通过螺套自身较强材料的内螺纹实现与连接紧固件的配合; 通过螺套自身的外螺纹实现与铝基、镁基材料的螺纹连接, 提升连接强度; 与此同时, 锁键螺套自身的锁键通过过盈配合实现与基体的嵌入, 限制周向转动, 提升螺套与基体的连接强度, 具有较高的连接效率。

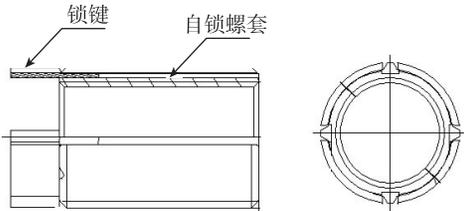


图 1 锁键螺套结构设计

Fig. 1 Structure design of lock nut

2 锁紧性能分析

2.1 影响要素辨识

锁键螺套试验组件由试验螺栓、楔形锁键螺套和基体块等部分组成。选取 RLM5、RLM6 和 RLM12 等不同规格及不同长度 (6.8mm/10mm/12mm) 的锁键螺套进行锁紧性能测试。试验结果如图 2 所示。由图 2 分析可知, 与规格 RLM5 与 RLM12 的锁键螺套相比, RLM6 的锁键螺套的锁紧性能的锁紧性能差, 规格 RLM5 \times 6.8 的锁紧性能最好。其中 RLM 指楔形内螺纹, 5 为内螺纹公称直径, 6.8 为螺套长度。

图 3 为规格 RLM5 \times 6.8 锁键螺套试验夹紧力-扭矩曲线, 图 4 为规格 RLM5 \times 6.8 锁键螺套试验角度-扭矩-夹紧力曲线, 图 5 为规格 RLM6 \times 6.8 锁键螺套试验夹紧力-扭矩曲线, 图 6 为规格 RLM6 \times

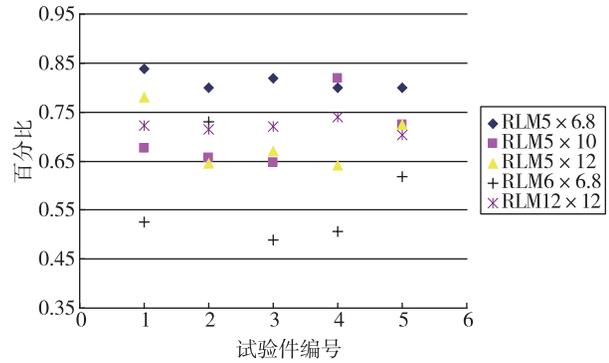


图 2 锁键螺套锁紧性能检测结果

Fig. 2 Test result of locking performance

6.8 锁键螺套试验角度-扭矩-夹紧力曲线。对比分析 RLM5 \times 6.8 和 RLM6 \times 6.8 的试验夹紧力-扭矩曲线和试验角度-扭矩-夹紧力曲线可知, 两者的夹紧力-扭矩图存在显著差异。同时通过对 RLM6 \times 6.8 的锁紧试验过程观察, 发现 RLM6 \times 6.8 的锁键螺套与基体发生了比较明显的相对转动。

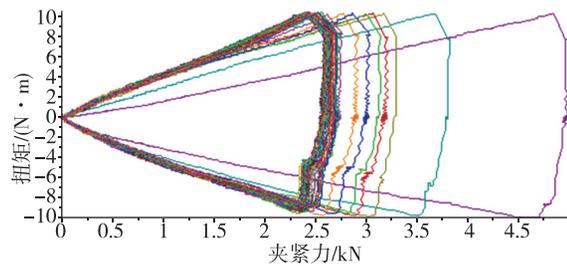


图 3 RLM5 \times 6.8 锁键螺套夹紧力-扭矩曲线

Fig. 3 Pretightening force-torque relationship of RLM5 \times 6.8

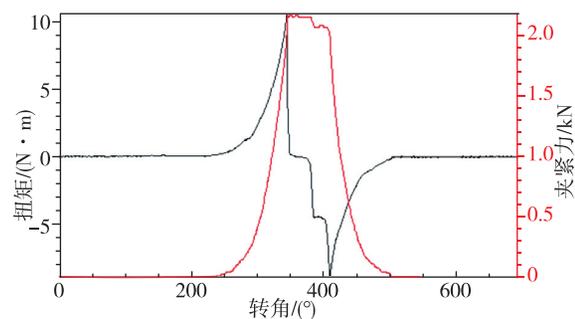


图 4 规格 RLM5 \times 6.8 锁键螺套角度-扭矩-夹紧力曲线

Fig. 4 Angle-pretightening force-torque relationship of RLM5 \times 6.8

锁紧性能试验过程中, 预紧力和扭矩传递过程复杂。通过分析试验曲线、观察试验过程以及与其他楔形螺纹紧固件锁紧性能数据分析 (其他一体型的楔形内螺纹紧固件锁紧性能拧出力矩占拧入力矩 80% 以上), RLM6 锁键螺套锁紧性能较差, 可能和锁键螺套与基体之间配合松紧程度有关。

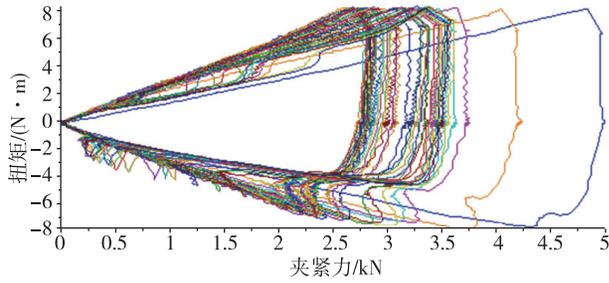


图 5 RLM6×6.8 锁键螺套夹紧力-扭矩曲线

Fig. 5 Pretightening force-torque relationship of RLM6×6.8

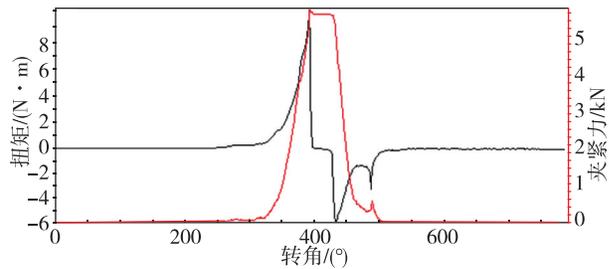


图 6 规格 RLM6×6.8 锁键螺套角度-扭矩-夹紧力曲线

Fig. 6 Angle-pretightening force-torque relationship of RLM6×6.8

分析锁紧螺套安装后的结构，影响锁键螺套与基体配合松紧程度的主要要素有：锁键长度、锁键过盈量和锁键数量、基体材料和基体螺纹精度等。

2.2 影响分析

(1) 锁键长度影响

由于锁键螺套的锁键长度影响基体与锁键螺套之间的间隙，表 1 比较了在其他试验条件相同的情况下，锁键螺套锁键长度不同时，锁键螺套锁紧性能检测结果。由表 1 分析结果表明，锁键长度较长的锁键螺套锁紧性能优于锁键长度较短的锁键螺套的锁紧性能，锁键长度较短的锁键螺套的最小拧出力矩较锁键长度较长的锁键螺套的最小拧出力矩少 28.3%，即锁键长度越长，锁键螺套的锁紧性能越好。

表 1 锁键长度不同时 RLM5×6.8 锁键螺套的锁紧性能试验结果

Tab. 1 Test result of RLM5×6.8 locking performance with different length

| 锁键长度 | 最小拧出力矩 / (N·m) | 百分比 (安装力矩 10.5N·m) / % |
|------|----------------|------------------------|
| 较长 | 8.6 | 81.9 |
| 较短 | 6.17 | 58.8 |

(2) 锁键过盈量及锁键数量影响

表 2 为锁键螺套过盈量的设计参数，从表中可以看出，RLM12 与 RLM6 锁键螺套的过盈量是相同的，RLM5 的锁键螺套的过盈量大于其他规格的锁键螺套。但 RLM12 的锁键螺套的锁键数量为 4，RLM6 的锁键螺套的锁键数量为 2，故 RLM12 的锁键螺套的锁紧性能优于 RLM6 的锁键螺套的锁紧性能。RLM5 的锁键螺套的锁键数量为 2，RLM6 的锁键螺套的锁键数量为 2，故 RLM5 的锁键螺套的锁紧性能优于 RLM6 的锁键螺套的锁紧性能。

表 2 锁键螺套过盈量

Tab. 2 Interference amount of lock nut

| 规格 | 锁键与基体内螺纹最小干涉量 | 锁键与基体内螺纹最大干涉量 | 锁键数量 |
|-------|---------------|---------------|------|
| RLM5 | 0.214 | 0.477 | 2 |
| RLM6 | 0.182 | 0.462 | 2 |
| RLM12 | 0.182 | 0.462 | 4 |

(3) 基体螺纹精度的影响

采用螺纹止规分别检测了基体的螺纹，检测结果均合格。但发现 RLM6 锁键螺套的基体螺纹较 RLM5 锁键螺套的基体螺纹松。基体内螺纹的大小可能是结果差异的重要因素。为进一步证实，将规格为 RLM5×6.8 的试验件基体进行攻丝处理，处理后基体中径和大径增大。表 3 比较了在其他试验条件相同的情况下，RLM5×6.8 锁键螺套基体与做攻丝处理的锁紧性能试验结果。从表 3 可以看出，其他试验条件相同的情况下，基体做攻丝处理的锁键螺套较基体未做攻丝处理的锁键螺套的最小拧出力矩少 20.0%，由此可见，基体螺纹与锁键螺套间隙越大，锁紧性能越差。

表 3 RLM5×6.8 锁键螺套基体与做攻丝处理的锁紧性能试验结果

Tab. 3 Test result of RLM5×6.8 locking performance with different substrate material

| 状态 | 最小拧出力矩 / (N·m) | 百分比 (安装力矩 10.5N·m) / % |
|--------|---------------------|------------------------|
| 未做攻丝处理 | 8.6 | 81.9 |
| 做攻丝处理 | 6.97 (前 20 次拧出最小力矩) | 66.4 |

(4) 基体材料的影响

为分析基体材料对锁键螺套锁紧性能的影响，对比分析了基体材料为钢和铝时锁键螺套的锁紧性能，试验结果如表 4 所示。从表 4 可以看出，基体材料对锁键螺套的锁紧性影响不显著。

通过对试验观察及试验曲线分析,不同规格不同基体材料组合试验过程中锁键都会在拧入或拧出过程中发生一定角度的转动,这是由于锁键本身的刚度及配合间隙造成的,配合间隙大的组合更加明显。

表4 基体材料为钢和铝时 RLM5×6.8 锁键螺套的锁紧性能试验结果

Tab.4 Test result of RLM5×6.8 locking performance with different substrate material

| 基体材料 | 最小拧出力矩/(N·m) | 百分比(安装力矩 10.5N·m)/% |
|-------|------------------|---------------------|
| 钢(8级) | 8.49(前10次拧出最小力矩) | 80.9 |
| 铝 | 8.72(前10次拧出最小力矩) | 83.0 |

(5) 试验速度的影响

为分析扭拉机转速对锁键螺套锁紧性能的影响,进行了锁紧性能对比试验,试验采用锁键较短的锁键螺套,基体材料选用钢,扭拉机转速分别为4r/min(GB/T16823.3-1997推荐的试验转速为4r/min)与10r/min(GB/T16823.3-2010推荐的M3-M16规格的试验转速为10r/min~40r/min)^[12-13],试验结果如表5所示。分析试验结果可知,扭拉机转速对锁键螺套的锁紧性能检测结果有影响。鉴于试验速度的选取参考人工操作的旋转速度(约10r/min),因此建议参考人工操作速度进行试验,试验结果将更具参考意义和借鉴性。

表5 不同扭拉机转速时 RLM5×6.8 锁键螺套的锁紧性能试验结果

Tab.5 Test result of RLM5×6.8 locking performance with different test speed

| 转速 | 最小拧出力矩/(N·m) | 百分比(安装力矩 10.5N·m)/% |
|---------|--------------|---------------------|
| 4r/min | 7.83 | 74.6 |
| 10r/min | 6.73(30次) | 64.1 |

3 结束语

楔形内螺纹锁键螺套作为可靠使用的锁紧紧固件,在螺纹强度要求较高和反复拆装等使用环境中广泛应用,是提升铝基基体材料连接能力的重要紧固件。本文以楔形内螺纹锁键螺套锁紧性能影响要素为研究对象,对锁紧性能影响要素进行了试验研究。主要结论如下:

1) 锁键螺套与基体的安装间隙、锁键长度、

试验速度、规格及锁键数量等因素,均会影响锁键螺套的锁紧性能。

2) 锁键螺套与铝合金基体螺纹配合较松,将会导致锁键螺套锁紧性衰减;基体螺纹与锁键螺套间隙越大,锁紧性能越差。

3) 在锁键过盈量一定的情况下,基体材料对锁键螺套的锁紧性能影响不显著。

4) 锁键长度越长,锁键螺套的锁紧性能越好。

5) 锁键与基体过盈量大,锁键数量越多,锁紧性能越好;试验转速建议参考人工操作速度进行。

参考文献

- [1] 陈烈民. 航天器结构与机构 [M]. 北京: 中国科学技术出版社, 2005.
- [2] 周洪飞, 梁恒亮, 张国清, 等. 新型锁键螺套在树脂基复合材料上的应用研究 [J]. 航空制造技术, 2017, 60(6): 73-75.
- [3] 孙小炎, 杨林. 航天紧固件实用手册 [M]. 北京: 国防工业出版社, 2006.
- [4] 航天精工有限公司. 紧固件概论 [M]. 北京: 国防工业出版社, 2014.
- [5] 张晓斌, 于建政, 贾晓娇, 等. 某飞行器用紧固件拧紧力矩与预紧力关系研究 [J]. 航空制造技术, 2016, 59(8): 81-84.
- [6] 曲璇中. 钛合金双耳托板自锁螺母的研制 [J]. 稀有金属材料与工程, 1996(4): 51-54.
- [7] 刘仁志, 吴海荣, 王华明. TC16钛合金六角自锁螺母加工技术研究 [J]. 飞机设计, 2011, 31(3): 51-54.
- [8] 王文胜. 插销螺套分析与使用 [J]. 电子机械工程, 2004, 20(4): 32-34.
- [9] 王立东, 刘风雷, 赵庆云. 收口量对钛合金自锁螺母锁紧性能的影响 [J]. 航空制造技术, 2017, 60(23/24): 79-82.
- [10] 吴南星, 鲍星, 徐梅香. 不同因素对高锁螺母锁紧力矩影响的研究 [J]. 航空制造技术, 2016, 59(9): 103-106.
- [11] HB/Z 251-199 螺栓连接拧紧力矩与轴向力的关系 [S]. 北京: 中国航空工业总公司, 1993.
- [12] GB/T 16823.3-1997 螺纹紧固件拧紧试验方法 [S]. 北京: 国家技术监督局, 1997.
- [13] GB/T 16823.3-2010 紧固件 扭矩-夹紧力试验 [S]. 北京: 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局, 2011.